

Coriolis-Massedurchflussmesser

Die Erfindung betrifft einen Coriolis-Massedurchflussmesser, der mindestens ein mittels einer Erregungseinheit in mechanische Schwingung versetzbares massedurchflossenes Rohr als Schwingungskörper aufweist, dessen in Abhängigkeit vom Massedurchfluss sich änderndes Schwingungsverhalten über mindestens einen Sensor zur Bestimmung des Massedurchflusses erfassbar ist. Daneben betrifft die Erfindung auch ein Verfahren zum Betrieb eines solchen Coriolis-Massedurchflussmessers.

Ein Coriolis-Massedurchflussmesser dient zur strömungsmechanischen Durchflussmessung von Fluidmassen und wird in Anlagen, in denen die Präzision des Massenstromes relevant ist, wie beispielsweise in Raffinerien, eingesetzt.

Aus der gattungsgemäßen DE 3007361 C3 ist bereits ein derartiger Coriolis-Massedurchflussmesser bekannt. Der Coriolis-Massedurchflussmesser, der in diesem Fall eine symmetrische Konstruktion aufweist, besteht im Wesentlichen aus einem Einflussflansch und einem Ausflussflansch der die Verbindung zwischen Ein- und Ausfluss-Rohrschenkeln und externen Ein- und Ausflussrohren herstellen. Ein Messrohr verbindet die Ein- und Ausfluss-Rohrschenkel so, dass sich für den Coriolis-Massedurchflussmesser eine Form wie den griechischen Buchstaben Ω ergibt.

- 2 -

Allgemein bekannt sind auch Ausführungen mit doppelten, parallelen Rohrführungen. An den Verbindungsstellen befinden sich jeweils einen Ein- und einen Ausfluss-Aufnahmepunkte. Jeder Coriolis-Massedurchflussmesser der hier interessierenden Art basiert auf folgendem physikalischen Prinzip:

Eine Erregungseinheit versetzt das Messrohr in Schwingung. Die erfassten Schwingungen an den Ein- und Ausfluss-Aufnahmepunkten zeigen dieselbe Phase. Bei der Durchströmung des Coriolis-Massedurchflussmessers erfährt die Fluidmasse beschleunigte Schwingungsauslenkungen, die eine Corioliskraft erzeugen. Die ursprünglich sinusförmige, gleichförmige Schwingung des Rohres erfährt nun Einflüsse der entlang des Messrohrs verteilten Corioliskraft, die bei den Ein- und Ausfluss-Aufnahmepunkten eine Phasenverschiebung verursacht. Es werden die Schwingungsphasen und Schwingungsamplituden an den Ein- und Ausfluss- Aufnahmepunkten mittels Ein- und Ausfluss-Sensoren aufgenommen und einer Auswerteeinheit zugeführt. Die Größe der Phasenverschiebung ist ein Maß für den Massedurchfluss.

Durch eine Kalibrierung wird für jeden Coriolis-Massedurchflussmesser festgelegt wie die Phasenverschiebung mit dem Massenfluss zusammenhängt. Die Größe der Phasenverschiebung ist abhängig von der Federsteifigkeit und Masse der Rohrführung. Die Federsteifigkeit ist wiederum abhängig vor der Rohrgeometrie und der Materialsteifigkeit. Die Rohrgeometrie beschreibt beispielsweise den Nenndurchmesser und die Wanddicke des Rohres.

Solange die Materialdaten und die Rohrgeometrie unverändert bleiben, hat die durchgeföhrte Kalibrierung ihre Gültigkeit. Wenn jedoch die Geometrie des Rohres - beispielsweise die Wanddicke - sich ändert, dann gilt die einst durchgeföhrte Kalibrierung nicht mehr.

Nachteilig ist bei dem bekannten Coriolis-Massedurchflussmesser, dass hier eine abrasive und/oder korrosive, strömende Fluidmasse die Wandstärke der Rohrführung angreift und

- 3 -

abträgt. Solch ein Verschleiß ändert sowohl den Rohrenndurchmesser als auch die Rohrwanddicke und somit wird die Federsteifigkeit des Rohres verändert. Solch eine Veränderung der Rohrfedersteifigkeit verursacht bei dem gleichen Massendurchfluss eine veränderte Phasenverschiebung bzw. ein fehlerhaftes Maß für den Massedurchfluss.

Ein weiterer Nachteil ist die Zunahme der Materialermüdung auf Grund der Reduzierung der Wandstärke der Rohrführung und somit im Extremfall Bauteilversagen in Form von Ermüdungsbrüchen.

Die Aufgabe der Erfindung ist es daher, eine Maßnahme zu schaffen, die eine Vorhersage über den jeweiligen mechanischen Zustand der Rohrführung ermöglicht, um so einem Bauteilversagen vorzubeugen.

Die Aufgabe wird ausgehend von einem Coriolis-Massedurchflussmesser gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1 in Verbindung mit dessen kennzeichnenden Merkmalen gelöst. Die abhängigen Ansprüche geben vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung wieder.

Die Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass zur Bestimmung des aktuellen Verschleißzustandes des Rohres die Erregungseinheit einen einmaligen Schwingungsimpuls an das Rohr abgibt, dessen Schwingungsantwort der mindestens eine Sensor erfasst, woraus eine nachgeschaltete Auswerteeinheit die aktuelle Dämpfungskonstante des Rohres berechnet und diese mit einer hinterlegten, ursprünglichen Dämpfungskonstante des Rohres im Neuzustand vergleicht.

Diese Lösung hat den Vorteil, dass die individuelle, charakteristische Kennlinie des Coriolis-Massedurchflussmessers und somit die Abklingkonstante der Rohrführung erfasst und als Maßstab für die Betriebssicherheit des Bauteiles benutzt werden kann. Diese Maßnahme kann sowohl als Detektor für den jeweiligen Betriebszustand des betreffenden erodierten und/oder korrodierten Coriolis-Massedurchflussmessers als auch als Nachweisführung für

die Abrasions- bzw. Korrosionsfestigkeit des betreffenden Coriolis-Massedurchflussmessers benutzt werden. Dieser Maßnahme kommt insbesondere in Hinblick auf Herstellerhaftung und in der Druckgeräterichtlinie geforderte Gefahrenanalyse und Vermeidung von Gefahren besondere Bedeutung zu.

Optimaler Weise findet bei Abgabe des einmaligen Schwingungsimpulses durch die Erregungseinheit an das Rohr ein Massedurchfluss nicht stattfindet, um die Verschleißzustandsmessung nicht durch Störgrößen zu beeinflussen. Das Dämpfungsverhalten des Coriolis-Massedurchflussmessers kann aber auch unter einem gleichzeitigen Massedurchfluss aufgezeichnet werden. Der störende Massedurchfluss kann anschließend mit einem Rechenprogramm eliminiert werden, welches die Fluiddaten wie die Viskosität, die Dichte, und die Schwingungsverhältnisse des Messrohres und die Betriebstemperatur berücksichtigt. Der Vorteil dieser Art der Erfassung des Dämpfungsverhaltens des Coriolis-Massedurchflussmessers ist, dass der Betrieb in einer kontinuierlich arbeitenden Anlage nicht unterbrochen werden muss.

Anstatt des meist verwendeten elektromagnetisch erregbaren Messrohrs aus Stahl kann auch ein elektromagnetisch neutrales Messrohr mit mindestens einer Erregungshilfe eingesetzt werden. Der Vorteil des Alternativmaterials für das Messrohr ist, dass in Abhängigkeit von der Fluidmasse und ihre korrosive bzw. abrasive Eigenschaft ein passendes Material eingesetzt werden kann.

Für das Messrohr können Keramikwerkstoffe eingesetzt werden. Der Vorteil der Keramikwerkstoffe für das Messrohr ist die Widerstandsfähigkeit dieser Werkstoffe gegen die Abrasion. Für das Messrohr können auch Kunststoffe eingesetzt werden. Der Vorteil der Kunststoffe für das Messrohr ist die Widerstandsfähigkeit dieser Werkstoffe gegen die Korrosion.

- 5 -

Weitere die Erfindung verbessernde Maßnahmen gehen aus den Unteransprüchen hervor oder werden nachstehend gemeinsam mit der Beschreibung eines bevorzugten Ausführungsbeispiels der Erfindung anhand der Figuren näher dargestellt. Es zeigt:

Fig. 1 eine schematische Seitenansicht eines Coriolis-Massedurchflussmessers, und

Fig. 2 eine Abklingkurve eines gedämpften Schwingungssystems.

Gemäß **Fig. 1** enthält ein Coriolis-Massedurchflussmesser u.a. einen Einflussflansch 1, der zusammen mit einem Einfluss-Rohrschenkel 3, einem Messrohr 9, einem Ausfluss-Rohrschenkel 4 und einem Ausflussflansch 2 eine Rohranordnung bildet, die eine Form wie den griechischen Buchstaben Ω hat und durch die zu messende Fluidmasse durchströmt wird. Der Einflussflansch 1 verbindet ein externes Zuflussrohr zu dem Einfluss-Rohrschenkel 3. Der Ausflussflansch 2 verbindet ein externes Ausflussrohr zu dem Ausfluss-Rohrschenkel 4.

Der Einflussflansch 1 und der Ausflussflansch 2 dienen als Halterung für den Coriolis-Massedurchflussmesser. Eine Erregungseinheit 8 versetzt den Coriolis-Massedurchflussmesser durch eine einmalige Erregung in Schwingung. Das gedämpfte Schwingungsverhalten des Coriolis-Massedurchflussmessers wird mit Vorhandensein eines Massedurchflusses als eine charakteristische Kennlinie an einem Aufnahmepunkt 5 mittels eines Sensors 15, der an eine elektronische Auswerteeinheit 10 angeschlossen ist aufgezeichnet. Die Auswerteeinheit 10 ermittelt aus den Daten die für den aktuellen Zustand die charakteristische Kennlinie des Coriolis-Massedurchflussmessers.

Das in der **Fig.2** dargestellte Diagramm zeigt eine typische charakteristische Kennlinie die in der Beschreibung der **Fig.1** am Aufnahmepunkt 5 aufgezeichnet wurde.

- 6 -

Die Abszisse t zeigt die Zeit und die Ordinate A zeigt die Amplitude.

Für die Hüllkurve, die die Scheitelpunkte der Schwingung tangiert gilt: $A = c \cdot e^{-\delta t}$

Wobei:

c = Konstante

und

δ = Abklingkonstante.

Diese zwei Konstanten sind charakteristisch und fungieren als eine Art Fingerabdruck des jeweiligen Betriebszustandes des betreffenden Coriolis-Massedurchflussmessers. Hiermit ist es möglich den Verlauf der Veränderungen der Konstanten zu dokumentieren und einen Rückschluss auf das Abrasions- bzw. Korrosionsverhalten zu ziehen. Diese Maßnahme können benutzt werden um die Abrasions- bzw. Korrosionsbeständigkeit eines Coriolis-Massedurchflussmessers nachzuweisen.

- 7 -

Bezugszeichenliste

- | | |
|----|------------------------|
| 1 | Einflussflansch |
| 2 | Ausflussflansch |
| 3 | Einfluss-Rohrschenkel |
| 4 | Ausfluss- Rohrschenkel |
| 5 | Einfluss-Aufnahmepunkt |
| 6 | Ausfluss-Aufnahmepunkt |
| 7 | Erregungshilfe |
| 8 | Erregungseinheit |
| 9 | Messrohr |
| 10 | Auswerteeinheit |
| 15 | Einfluss-Sensor |
| 16 | Ausfluss-Sensor |

Patentansprüche

1. Coriolis-Massedurchflussmesser, mit mindestens einem mittels einer Erregungseinheit (8) in mechanische Schwingung versetzbaren massedurchflossenen Rohr (9) als Schwingungskörper, dessen in Abhängigkeit vom Massedurchfluss sich änderndes Schwingungsverhalten über mindestens einen Sensor (15, 16) zur Bestimmung des Massedurchflusses erfassbar ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass zur Bestimmung des aktuellen Verschleißzustandes des Rohres (9) die Erregungseinheit (8) einen einmaligen Schwingungsimpuls an das Rohr (9) abgibt, dessen Schwingungsantwort der mindestens eine Sensor (15; 16) erfasst, woraus eine nachgeschaltete Auswerteeinheit (10) die aktuelle Dämpfungskonstante des Rohres (9) berechnet und diese mit einer hinterlegten, ursprünglichen Dämpfungskonstante des Rohres (9) im Neuzustand vergleicht.
2. Coriolis-Massedurchflussmesser nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei Abgabe des einmaligen Schwingungsimpulses durch die Erregungseinheit (8) an das Rohr (9) ein Massedurchfluss vorhanden ist, wobei dieser allerdings zur Ermittlung der individuellen Dämpfungskonstante des Rohres (9) von der Auswerteeinheit (10) rechnerisch eliminierbar ist.
3. Coriolis-Massedurchflussmesser nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei Abgabe des einmaligen Schwingungsimpulses durch die Erregungseinheit (8) an das Rohr (9) ein Massedurchfluss nicht stattfindet.

- 9 -

4. Coriolis-Massedurchflussmesser nach einem der vorstehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass an dem magnetisch neutralen Rohr (9) mindestens eine Erregungshilfe (7) angebracht ist, die als ein ferromagnetischer Körper ausgebildet ist, worüber das Rohr (9) durch die Erregungseinheit (8) in Schwingung versetzbar ist.
5. Coriolis-Massedurchflussmesser nach Anspruch 4,
dadurch gekennzeichnet, dass das magnetisch neutrale Rohr (9) aus einem keramischen Material besteht.
6. Coriolis-Massedurchflussmesser nach Anspruch 4,
dadurch gekennzeichnet, dass das magnetisch neutrale Rohr (9) aus einem Kunststoff besteht.
7. Verfahren zu Betrieb eines Coriolis-Massedurchflussmessers nach einem der vorstehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass zur Bestimmung des aktuellen Verschleißzustandes des Rohres (9), dieses durch die Erregungseinheit (8) mit einem einmaligen Schwingungsimpuls angeregt wird, wonach die Schwingungsantwort durch mindestens eine Sensor (15; 16) erfasst wird, woraus die aktuelle Dämpfungskonstante des Rohres (9) durch eine nachgeschaltete Auswerteeinheit (10) berechnet wird und diese mit einer hinterlegten, ursprünglichen Dämpfungskonstante des Rohres (9) im Neuzustand verglichen wird.

- 10 -

8. Verfahren nach Anspruch 7,
dadurch gekennzeichnet,
dass bei Abgabe des einmaligen Schwingungsimpulses durch die Erregungseinheit (8) an das Rohr (9) ein Massedurchfluss stattfindet, wobei dieser allerdings zur Ermittlung der individuellen Dämpfungskonstante des Rohres (9) von der Auswerteeinheit (10) rechnerisch eliminiert wird.
9. Verfahren nach Anspruch 7,
dadurch gekennzeichnet, dass bei Abgabe des einmaligen Schwingungsimpulses durch die Erregungseinheit (8) an das Rohr (9) ein Massedurchfluss nicht erfolgt.

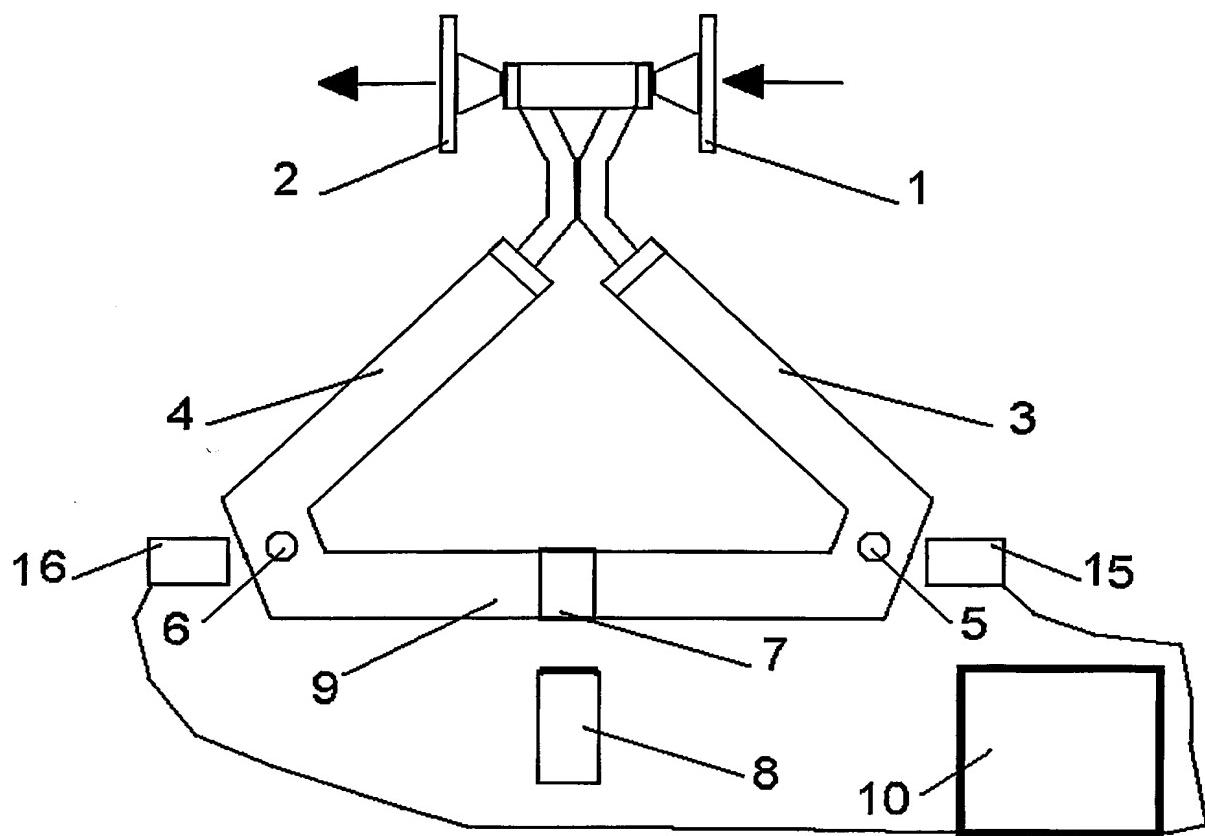


Fig.1

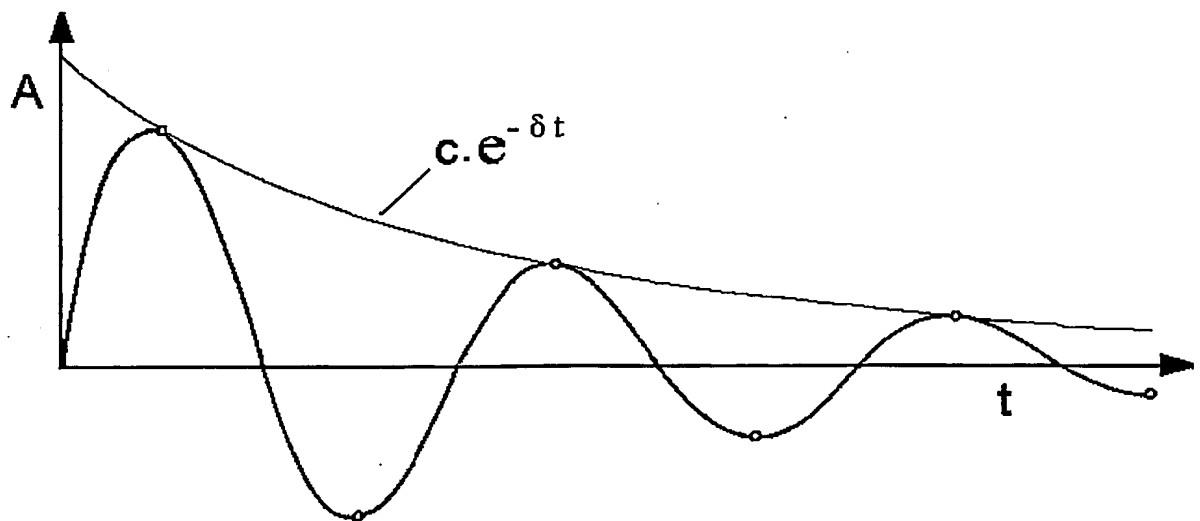


Fig.2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/EP2004/013559

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 G01F1/84

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 7 G01F G01N G01M

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the International search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, PAJ, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 0 816 807 A (THE FOXBORO COMPANY) 7 January 1998 (1998-01-07) abstract; figures 1,9 column 2, lines 16-37 column 3, lines 19-25 column 12, lines 6-53	1-9
A	US 5 594 180 A (CARPENTER ET AL) 14 January 1997 (1997-01-14) abstract; figures 1,3-7 column 14 - column 19	1,7
A	EP 0 462 711 A (IMPERIAL CHEMICAL INDUSTRIES PLC) 27 December 1991 (1991-12-27) abstract; figure 1 column 8, line 44 - line 50	1,7

Further documents are listed in the continuation of box C.

Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the International filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the International filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the International filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- *&* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the International search

24 February 2005

Date of mailing of the International search report

04/03/2005

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5018 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Vorropoulos, G

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP2004/013559

Patent document cited in search report		Publication date		Patent family member(s)		Publication date
EP 0816807	A	07-01-1998	US EP	5926096 A 0816807 A2		20-07-1999 07-01-1998
US 5594180	A	14-01-1997	CN DE DE EP HK JP JP RU WO	1166199 A ,C 69530704 D1 69530704 T2 0803050 A1 1004419 A1 3194960 B2 10504391 T 2164009 C2 9605484 A1		26-11-1997 12-06-2003 20-11-2003 29-10-1997 01-11-2002 06-08-2001 28-04-1998 10-03-2001 22-02-1996
EP 0462711	A	27-12-1991	EP JP	0462711 A1 5113359 A		27-12-1991 07-05-1993

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2004/013559

A. KLASIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

IPK 7 G01F/84

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
IPK 7 G01F G01N G01M

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der Internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, PAJ, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	EP 0 816 807 A (THE FOXBORO COMPANY) 7. Januar 1998 (1998-01-07) Zusammenfassung; Abbildungen 1,9 Spalte 2, Zeilen 16-37 Spalte 3, Zeilen 19-25 Spalte 12, Zeilen 6-53	1-9
A	US 5 594 180 A (CARPENTER ET AL) 14. Januar 1997 (1997-01-14) Zusammenfassung; Abbildungen 1,3-7 Spalte 14 - Spalte 19	1,7
A	EP 0 462 711 A (IMPERIAL CHEMICAL INDUSTRIES PLC) 27. Dezember 1991 (1991-12-27) Zusammenfassung; Abbildung 1 Spalte 8, Zeile 44 - Zeile 50	1,7

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem Internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem Internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der Internationalen Recherche

Absendedatum des Internationalen Recherchenberichts

24. Februar 2005

04/03/2005

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Vorropoulos, G

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2004/013559

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung		Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
EP 0816807	A	07-01-1998	US EP	5926096 A 0816807 A2		20-07-1999 07-01-1998
US 5594180	A	14-01-1997	CN DE DE EP HK JP JP RU WO	1166199 A ,C 69530704 D1 69530704 T2 0803050 A1 1004419 A1 3194960 B2 10504391 T 2164009 C2 9605484 A1		26-11-1997 12-06-2003 20-11-2003 29-10-1997 01-11-2002 06-08-2001 28-04-1998 10-03-2001 22-02-1996
EP 0462711	A	27-12-1991	EP JP	0462711 A1 5113359 A		27-12-1991 07-05-1993